

#### **Autores**

Walter Quadros Ribeiro Júnior  
Biólogo, Ph.D. em Genética e  
Melhoramento de Plantas, Pesquisador da  
Embrapa Trigo / Cerrados  
[walter@cpac.embrapa.br](mailto:walter@cpac.embrapa.br)

Maria Lucrecia Gerosa Ramos  
Bióloga, PhD em Fisiologia Vegetal, Prof.  
da Universidade de Brasília

Umberto Vasconcelos  
Eng. Agrôn., mestrando em Solos, UNB

Maria da Glória Trindade  
Eng. Agrôn., mestra em Genética e  
Melhoramento de plantas, Embrapa Trigo

Fernanda Maciel Ferreira  
Graduanda em Zootecnia, UPIS

Marcello Marques Honório Siqueira  
Biólogo, Universidade Estadual de Goiás

Hosana Luz Moreira da Silva  
Bióloga, Universidade Estadual de Goiás

Gustavo Costa Rodrigues  
Eng. Agrôn., mestre em Fisiologia Vegetal,  
Embrapa Cerrados

Antonio Fernando Guerra  
Eng. Agríc., Ph.D. em Irrigação,  
Embrapa Cerrados

Omar Cruz Rocha  
Eng. Agrôn., mestre em Irrigação e  
Drenagem, Embrapa Cerrados

Renato Fernando Amabile  
Eng. Agrôn., mestre em Fitotecnia, mestre  
em Produção Vegetal, Embrapa Cerrados

Ana Cristina Albuquerque  
Eng. Agrôn., mestra em Genética e  
Melhoramento de plantas, Embrapa Trigo

Márcio Só e Silva  
Eng. Agrôn., mestre em Fitotecnia,  
Embrapa Trigo

Júlio César Albrecht  
Eng. Agrôn., mestre em Produção Vegetal,  
Embrapa Cerrados

Frederico Ozanan Machado Durães  
Eng. Agrôn., Ph.D. em Fisiologia de  
Plantas, Embrapa Milho e Sorgo

## Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético do trigo no cerrado



Foto: Fabiano Severino

### A cultura de trigo

Para a cultura de trigo, assim como muitas outras culturas, os ambientes marginais mais importantes apresentam a restrição à disponibilidade de água como principal fator limitante ao rendimento. Portanto, seleção de genótipos tolerantes e manejo adequado para estresse hídrico, podem viabilizar o trigo nesses ambientes marginais.

Produtores da região do Cerrado tem procurado opções de cultivo para melhorar seu sistema agrícola produtivo. Existem duas opções de cultivo de trigo na região. Uma delas, o cultivo irrigado - que demanda investimentos - sendo viável, portanto, a áreas restritas que possuem infra-estrutura de irrigação, além disso, a expansão da área irrigada depende da disponibilidade de água. O cultivo irrigado de trigo compete em termos de lucro, com alternativas atraentes assim como feijão e algumas hortaliças.

Outra opção de cultivo é o plantio em safrinha logo após a colheita da safra agrícola principal no sistema em plantio direto, uma vez que é uma cultura que proporciona excelente palhada no solo, melhorando a sustentabilidade do sistema agrícola regional através da melhoria na retenção de água no solo e de sua fertilidade.

A viabilização da triticultura na região do Cerrado, em cultivo de sequeiro, poderia incrementar a produção nacional de trigo em aproximadamente dois milhões de toneladas, em uma estimativa conservadora, o que permitiria além do auto-abastecimento regional, a exportação de produto para as demais regiões consumidoras do país. A principal limitação do cultivo de trigo de sequeiro são os veranicos. Portanto, o melhoramento para tolerância à seca assume importância capital para a cultura. Considerável variação para esta característica, tem sido identificada entre cultivares, acessos e

espécies relacionadas de trigo, bem como há variação sobre o efeito do estresse hídrico nos atributos fisiológicos de trigo em diferentes regiões. Os atributos fisiológicos podem aumentar o potencial produtivo de trigo em certos ambientes e estão geralmente associados com a interação genótipo x ambiente, para diferentes locais e diferentes anos dentro de locais relativamente estáveis. Portanto, a seleção para aumento do potencial produtivo deve ser feita no ambiente apropriado, considerando as principais características fisiológicas que influenciam o potencial produtivo de trigo.

Procedimentos fisiológicos, combinados com métodos de melhoramento genético, possuem maior potencial para incrementar a produtividade e estabilidade de produção, do que quando se utiliza apenas melhoramento genético. Primeiro, porque permitem a identificação de caracteres chaves que correntemente limitam a produtividade em ambientes em que a seca é uma ocorrência comum e, portanto, a identificação de germoplasma parental com expressão máxima desses caracteres, os quais, normalmente não são encontrados nos programas de melhoramento. Segundo, porque há uma melhor possibilidade de seleção desses caracteres em grandes populações do que em linhagens elites que são testadas basicamente para rendimento. Se o caráter está correlacionado com rendimento, é mais efetivo selecionar para o caráter do que para rendimento em gerações precoces, devido à baixa herdabilidade para rendimento.

A resistência à seca é uma característica complexa para a qual o melhoramento sistemático é muito difícil, uma vez que naturalmente a cultura desenvolve sua plasticidade como resposta ao estresse. Entretanto existe variabilidade significativa entre cultivares, e um dos mecanismos de tolerância, é a produção de uma cerosidade que envolve a planta e enrolamento das folhas que podem evitar perdas de água (Fig.1).



**Fig. 1.** Sintomas específicos de deficiência hídrica em plantas de trigo ao nível de experimentação agrícola, Santo Antônio de Goiás, 2005.

## O problema da seca na cultura de trigo

Trigo é uma cultura que responde ao incremento tecnológico na quantidade de água aplicada durante o ciclo. O rendimento médio das culturas irrigadas chega a ser três vezes maior que nas culturas de sequeiro. O estágio de enchimento de grãos tem sido relatado como de maior sensibilidade a esse estresse. Na cultura de trigo safrinha, a necessidade de água também se faz sentir no período de estabelecimento da cultura, sem a qual dificilmente se consegue estande adequado de plantas nas lavouras. Na região do Cerrado, esta cultura pode sofrer estresse hídrico principalmente nos estádios iniciais de estabelecimento até o perfilamento, pela ocorrência de veranicos e nos estádios finais, pelo término do período de chuva com a chegada da estação seca. Estratégias de melhoramento para resistência à seca vem sendo parte integrante do melhoramento genético da maioria das culturas cultivadas em sistema de sequeiro. A resistência à seca é um fenômeno complexo que envolve o escape e a tolerância à seca. Os métodos convencionais de melhoramento têm utilizado como critério de seleção, principalmente a produção ou caracteres secundários altamente ligados à produção sob condições de estresse. Este procedimento tem originado cultivares com melhor adaptação e performance em ambientes de estresse, mas o progresso tem sido lento por causa da interação genótipo x ambiente, uma vez que há considerável variação na ocorrência e intensidade do estresse hídrico tanto em campo, quanto em condições controladas.

Muitos caracteres morfológicos, fisiológicos e bioquímicos estão relacionados com tolerância à seca em trigo, mas nem todos os caracteres são apropriados para seleção em qualquer ambiente. Acessos de trigo provenientes de regiões em que a seca é uma ocorrência comum são fontes potenciais de genes para tolerância à seca. Os principais caracteres relacionados com a resistência à seca, identificados em diversos programas de melhoramento, são: elevado teor de clorofila no espigamento, densidade de pubescência, complexação do Alumínio com ácidos orgânicos na rizosfera de materiais tolerantes, volume do pedúnculo, stay green e tolerância ao calor. A pesquisa tem buscado aristas longas, elevado ajustamento osmótico e biomassa sob condições de estresse hídrico e de elevadas temperaturas.

A experiência em programas internacionais de melhoramento de trigo revela que o melhoramento para caracteres fisiológicos adaptativos ao estresse hídrico é difícil pela baixa herdabilidade e correlação negativa existente entre esses caracteres e o rendimento, em muitos casos. Informações sobre a herdabilidade, facilidade de seleção, existência de marcadores moleculares, interação genótipo x ambiente esperada para a maioria desses caracteres estão disponíveis na literatura.

Procedimentos fisiológicos podem incrementar o rendimento de diferentes maneiras: Primeiro, pela identificação dos caracteres para os quais não há variabilidade genética suficiente nas populações melhoradas; Segundo variações sazonais na produtividade e a interação genótipo x ambiente, que podem tornar a seleção direta para produtividade ineficiente. Sendo assim, a seleção de caracteres fisiológicos que limitam a produtividade e têm elevada herdabilidade pode ser mais efetiva do que a seleção direta para produtividade; Terceiro, uma maior estabilidade na produtividade pode ser importante para minimizar as perdas em anos de maior ocorrência de déficit

hídrico, o que pode ser alcançado pela seleção de caracteres fisiológicos. Além disso, a seleção para caracteres fisiológicos em gerações precoces nos cultivos fora de época (safrinha) pode ser mais efetiva que a seleção direta para produtividade.

Diferentes substâncias estão relacionadas com a resposta de tolerância à seca e podem ser utilizadas como indicadores no momento da seleção, como o ácido abscísico, prolina, manose e outros açúcares. A literatura está repleta de exemplos havendo, portanto, a necessidade de avaliação e *screening* em cada ambiente alvo, para que essas ferramentas possam ser adequadamente exploradas em um programa de melhoramento. Desta forma, a identificação de metodologias adequadas para a região-alvo, bem como a caracterização do germoplasma disponível com base nestas metodologias e sua utilização na geração de novos cultivares constituem grandes desafios para estabilização da produção de trigo na região do Cerrado.

### **Objetivos do programa de fenotipagem de trigo para tolerância à seca**

Os objetivos do programa de fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético de trigo para a região do Cerrado, são os seguintes:

Validar caracteres, morfológicos, bioquímicos e moleculares, relacionados com a resistência à seca em germoplasma de trigo disponível em bancos de germoplasma;

Avaliar coleções de germoplasma de trigo disponíveis com expressão extrema desses caracteres sob condições de déficit hídrico para caracterizar a diversidade genética existente;

Identificar nestas coleções as melhores fontes para tolerância à seca;

Estabelecer os principais mecanismos relacionados com a tolerância à seca nos vários genótipos;

Proporcionar subsídios para estudos genômicos relacionados com a tolerância à seca nessa espécie;

Selecionar germoplasma promissor para uso em programas de melhoramento de trigo de sequeiro para a região do Cerrado; e

Determinar a distância genética entre os genótipos identificados com tolerância à seca como critério adicional para seleção de genitores em um programa de seleção recorrente no melhoramento de trigo de sequeiro para o Cerrado brasileiro.

### **Características climáticas e atributos químicos, físicos e hídricos dos sítios de fenotipagem para trigo na região do Cerrado**

A caracterização ambiental é imprescindível para que os genótipos avaliados sob condições de campo possam ser fenotipados adequadamente no ambiente alvo para o qual o programa de melhoramento está sendo desenvolvido. O bioma Cerrado ocupa uma área de cerca de dois milhões de km<sup>2</sup> (22% do território nacional)

distribuídos em sua maior parte, no Planalto Central Brasileiro. Abrange como áreas contínuas os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo e ocorre também em pequenas ilhas no Paraná.

A Embrapa está qualificando dois sítios experimentais para fenotipagem de trigo visando a resistência à seca, situados nos municípios de Planaltina-DF, na Embrapa Cerrados, e em Santo Antônio de Goiás, na Embrapa Arroz e Feijão.

Especificamente nesses sítios de fenotipagem, são observadas as seguintes características ambientais:

Segundo a classificação de Köppen, o município de Planaltina-DF, apresenta uma altitude de 1.175 m., segundo as coordenadas geográficas 15° 35' 30" de latitude Sul e 47° 42'00" de longitude a Oeste de Greenwich. Apresenta clima segundo a classificação de Köppen AW Tropical estacional de savana megatérmico com temperatura média do mês mais frio acima de 18,0°C. Tem precipitação média anual de 1.400 mm concentrada no período de outubro a março. O período seco varia de 5 a 6 meses (abril a setembro) as médias de temperatura máxima e mínima são de 26,4°C e 15,9°C, respectivamente. Possui declividade de 0 a 5%. Predominam os solos Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Vermelho Amarelo, que juntos representam 84% da área.

O município de Santo Antônio de Goiás está localizado a Latitude 16° 28', Longitude 49° 17' e altitude 823 m. Segundo a classificação de Köppen, o município de Santo Antônio de Goiás-GO apresenta clima Aw, tropical de savana, megatérmico. A temperatura média anual do ar é de 22,5°C, e o mês de junho apresenta a menor média de temperatura mínima do ar (14,0°C), enquanto o mês de setembro apresenta a maior média de temperatura máxima do ar (31,3°C). O regime pluvial é bem definido, ou seja, período chuvoso de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A precipitação pluvial média anual é de 1.461 mm, e a umidade relativa do ar, média anual, é de 71%, com o mês de agosto apresentando o menor índice (50%). A perda por evaporação, média anual, medida pelo tanque classe "A", é da ordem de 1.938 mm. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-distrófico, textura argilosa, fase cerrado subperenifólio, relevo plano.

### **Avaliação preliminar de genótipos de trigo para tolerância a seca em condições de safrinha**

O estresse hídrico, na região do Cerrado, pode acontecer no início do estabelecimento da cultura, com influência direta no estande final de plantas e, conseqüentemente, no rendimento de grãos, bem como em fases mais sensíveis da cultura, como florescimento e formação de grãos, principalmente nas semeaduras efetuadas mais tardiamente.

Os parâmetros fisiológicos já descritos em literatura, como avaliação de ácidos orgânicos que quelatam alumínio nas raízes através de coloração, teor de prolina nas folhas, elevado teor de clorofila no espigamento e seleção para resistência à seca pelo estresses osmóticos, relacionados com tolerância à seca, são

consideráveis opções para discriminar diferenças entre genótipos susceptíveis e tolerantes em condições ambientais de estresse hídrico. Aqueles que melhor se correlacionarem com tolerância no ambiente de Cerrado, podem ser utilizados para a seleção definitiva de fontes de resistência e para fenotipagem dos cultivares recomendados para essa região.

Durante o período de safrinha em 2005 foram testados 152 genótipos no sítio experimental de Planaltina-DF. Esses genótipos foram testados em um ensaio com três épocas de semeadura, visando obter estresse hídrico em diferentes fases fenológicas. Todos os genótipos testados apresentaram rendimento inferior a cultivar Aliança em condições de estresse hídrico, que foi incluído em três tratamentos analisados de forma independente (Tabela 1).

**Tabela 1.** Rendimento (Kg/ha) em genótipos de trigo testados em condições de seca em três épocas de semeadura com escalonamento de 10 dias, em condições de safrinha. Planaltina, DF, 2005.

Genótipo	Rendimento Época 1	Rendimento Época 2	Rendimento Época 3	Média
Genótipos Exc. <sup>1</sup>	1.400,38	939,22	941,45	1.093,68
Média <sup>2</sup>	1.843,85	1.406,24	1.328,08	1.526,06
BR18 <sup>3</sup>	1.545,71	2.020,00	1.958,42	1.841,38
BRS 208 <sup>3</sup>	1.343,75	1.858,69	2.454,45	1.885,63
BH 1146 <sup>3</sup>	2.584,24	1.648,75	1.571,61	1.934,87
PF 50003	2.011,83	2.381,19	1.413,04	1.935,35
PF 500017	1.471,25	3.020,68	1.409,86	1.967,26
PF 23056A	1.843,07	2.846,86	1.998,30	2.229,41
PF 500014	2.086,32	3.325,49	1.338,68	2.250,16
PF500015	3.937,69	2.354,38	647,63	2.313,23
PF 50004	2.271,95	2.288,75	2.386,56	2.315,75
PF 500018	3.671,95	1.518,75	1.883,09	2.357,93
Embrapa 21 <sup>3</sup>	2.771,99	2.491,25	2.147,15	2.470,13
Aliança <sup>3</sup>	2.470,36	2.194,60	3.024,11	2.563,02
Aliança <sup>3</sup>	2.058,18	2.500,00	3.273,17	2.610,45
Aliança <sup>3</sup>	2.710,42	2.942,70	2.366,56	2.673,23

<sup>1</sup> Médias dos genótipos testados excluídos (Rendimento inferior a 1.526 Kg/ha).

<sup>2</sup> Média dos genótipos testados (64 genótipos)

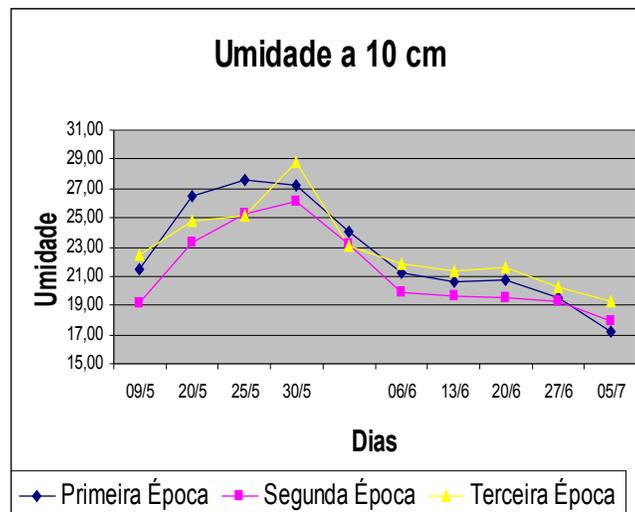
<sup>3</sup> Testemunhas

O status de água foi avaliado medindo-se a precipitação natural, e o conteúdo de água no solo (Fig. 2) pelo método gravimétrico, comparado com a curva de retenção de água no solo (Fig. 3). A curva característica de retenção de água desse solo indica conteúdo de água de 0,49 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) na condição de capacidade de campo (8 kPa) e 0,24 (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) na condição de ponto de murcha permanente (1.500 kPa) indicando uma capacidade de retenção de água de 13%. Esses solos, apesar de argilosos são considerados de baixa retenção de água, pois retêm em média cerca

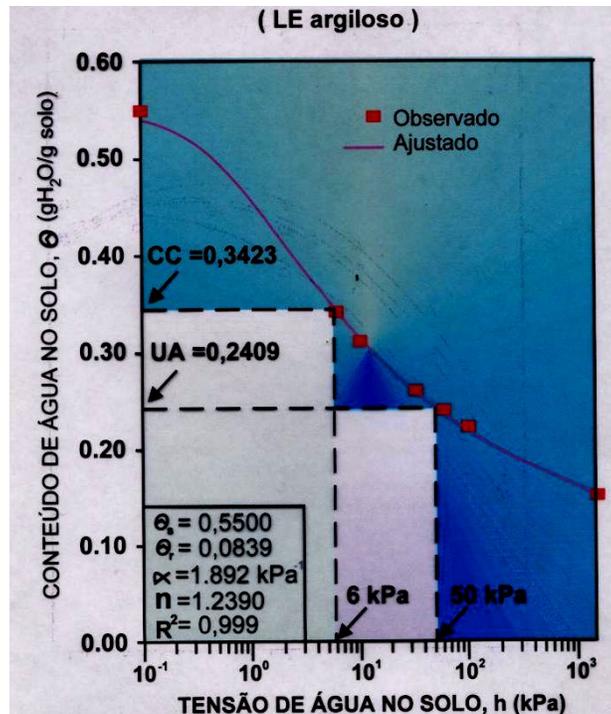
de 1 a 1,2 mm de água por centímetro de solo. Isso determina a necessidade de irrigações (ou chuvas) freqüentes para manter a camada superficial do solo, ocupada pelo sistema radicular, com umidade adequada ao desenvolvimento de trigo. Nessas áreas, trigo normalmente requer para o desenvolvimento ideal, irrigações (ou chuva) em intervalo de 3 a 5 dias.

Considerando o conteúdo crítico de água no solo observado na Figura 3, a data de emergência, e a evolução fenológica do trigo ao longo do ciclo, pode-se determinar que nas três épocas de semeadura, o estresse hídrico ocorreu inicialmente no perfilamento e predominantemente durante o enchimento de grãos (Fig. 2).

O principal critério para seleção dos melhores genótipos foi o rendimento, sob condições de estresse hídrico. Como critérios secundários, foram utilizados a precocidade, embora estas características sejam dependentes considerando que materiais tardios não logram chegar à fase de enchimento de grãos devido à falta de água na fase final do ciclo. Todos os genótipos testados nesses ensaios tiveram performance inferior à testemunha Aliança, sob condições de seca. Pode-se observar na Figura 4, que alguns genótipos foram incapazes de finalizar o ciclo devido à falta de água, principalmente no plantio de terceira época.



**Fig. 2.** Conteúdo de água no solo (g água/100 g solo) utilizando o método gravimétrico a 10 cm de profundidade.



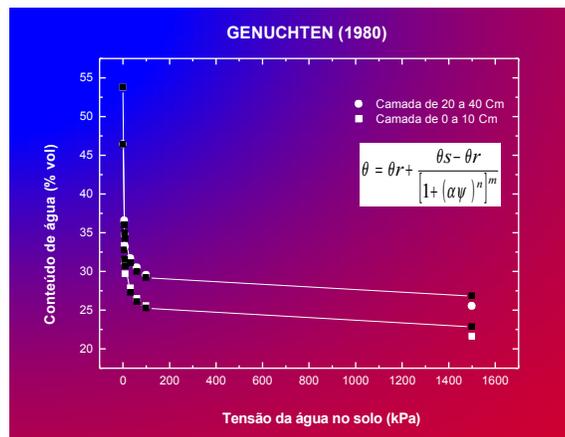
**Fig. 3.** Curva de retenção de água no solo obtida em Planaltina (DF) em um latossolo vermelho escuro.



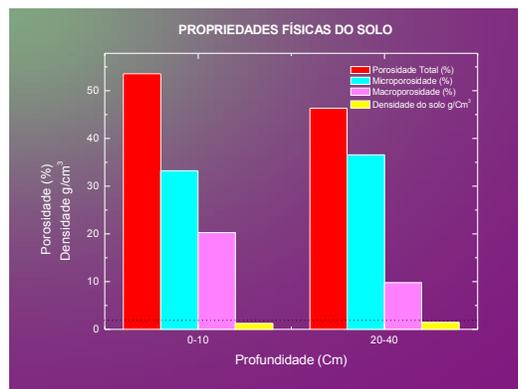
**Fig. 4.** Fotografia obtida dos experimentos de fenotipagem de trigo para tolerância à seca, durante o período de safrinha, terceira época.

Em Santo Antônio de Goiás, no ano de 2005, a partir do mês de abril houve ocorrência de apenas quatro precipitações pluviométricas até a colheita do experimento (uma com volume total de aproximadamente 55 mm e as outras três com volumes inferiores a 20 mm). A semeadura de primeira época recebeu estresse durante o período de enchimento de grãos (Figuras 5, 6 e 7).

O rendimento obtido no experimento foi baixo em função da semeadura tardia. Adicionalmente, a incidência de doenças fúngicas, como brusone (*Magnaporthe grisea*), mascarou o efeito da seca, uma vez que a testemunha resistente para seca, cultivar Aliança, é susceptível à brusone não alcançando nível de rendimento desejado nesse ensaio. Esses fatores afetaram principalmente o estande de plantas redundando em rendimentos mais baixos. Houve, no entanto, diferenças altamente significativas entre os genótipos a 5% de probabilidade para o teste F para a variável rendimento. Os genótipos mais produtivos (PF 040010 e PF 040014) dão um indicativo de apresentarem razoável nível de tolerância para seca e brusone, respectivamente. Diferenças altamente significativas também foram detectadas para as variáveis ciclo, nota de parcela e peso hectolítrico. Para o peso hectolítrico, a cultivar Aliança apresentou o melhor resultado entre todos os genótipos. Para as variáveis altura de plantas, tamanho de espiga e peso de mil grãos, não foram detectadas diferenças significativas entre os genótipos.

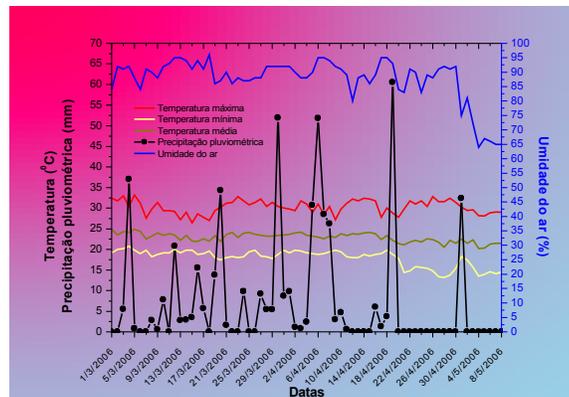


**Fig. 5.** Curva de retenção de água no solo obtida em Santo Antônio de Goiás (GO) em um Latossolo Vermelho Escuro. Santo Antônio de Goiás, 2006.



Índice S 0-10 cm = 0,05265; 20 – 40 cm = 0,033100, em que: S>0,035 indica boa qualidade física do solo;

**Fig. 6.** Propriedades físicas do solo obtidas em Santo Antônio de Goiás (GO) em um Latossolo Vermelho Escuro. Santo Antônio de Goiás, 2006.



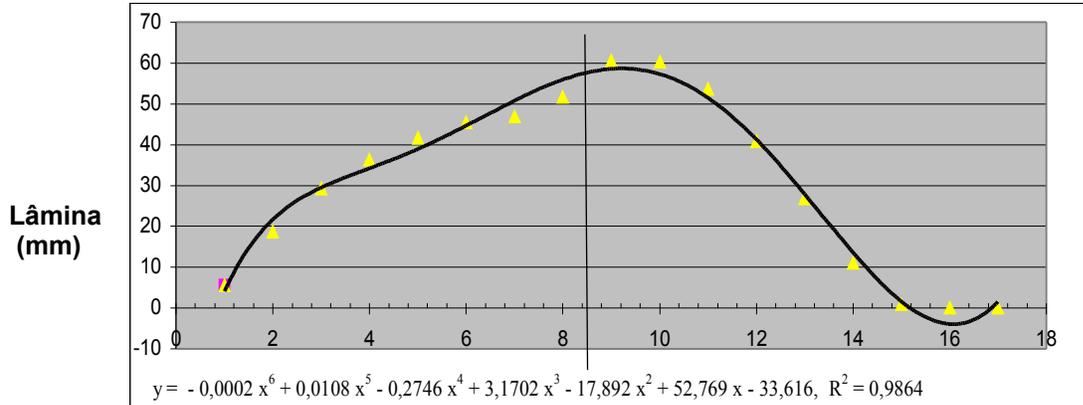
**Fig. 7.** Dados climatológicos observados em Santo Antônio de Goiás (GO) em um Latossolo Vermelho Escuro. Santo Antônio de Goiás, 2006.

### Experimentos em condições de campo sob irrigação, com controle de estresse hídrico em trigo

Em 2005, um experimento preliminar foi conduzido no período de inverno, com controle total da água, utilizando o sistema denominado *line source* que cria gradientes de umidade (fig.8), no sítio de Planaltina-DF. Esse experimento objetivou testar a metodologia para monitoramento de estresse, caracterizar genótipos conhecidos e testar o melhor esquema experimental a ser adotado.

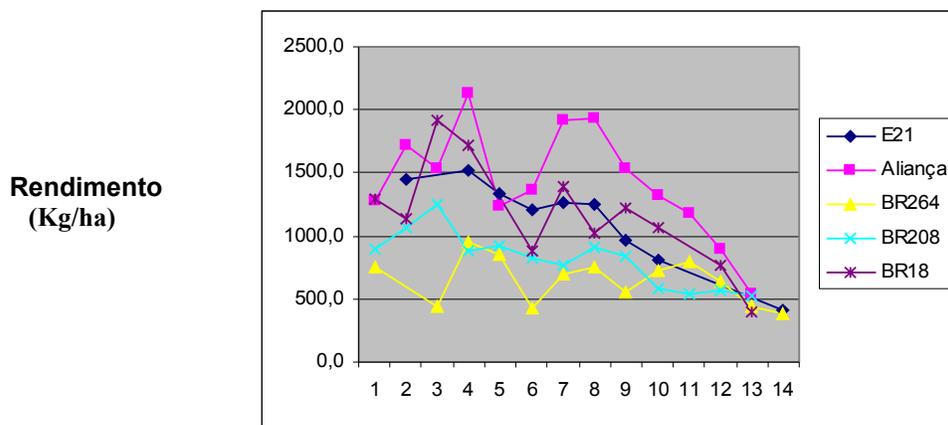
Esse experimento consistiu de vários níveis de lâmina de água sob irrigação utilizando-se poucos genótipos de comportamento conhecido para testar e adequar a metodologia, bem como controlar os erros experimentais. Um total de 270 mm de água foi aplicado em aproximadamente 120 dias de ciclo de trigo no tratamento sem estresse e diferenças no nível de água foram observadas à direita e esquerda do sistema de irrigação (Fig. 8). O estresse hídrico foi aplicado no início do perfilhamento. Com 270 mm de lâmina de água durante o ciclo, foi possível obter rendimento superior a 2.000 kg/ha no melhor tratamento de nível de água sob irrigação. Os melhores genótipos, cultivares Aliança e Embrapa 21, em condições de estresse hídrico no período de safrinha, também apresentaram o melhor desempenho durante o período de inverno em sistema com diferentes níveis de água. Estes resultados asseguram que a seleção para tolerância à seca durante o período de inverno utilizando essa metodologia pode ser útil no programa de melhoramento objetivando o cultivo de safrinha (Fig. 9).

O estresse hídrico foi aplicado no início do período de perfilhamento (Fig. 10). Nesse experimento o estresse hídrico foi determinado medindo-se a quantidade de água aplicada nos oito níveis de irrigação e o conteúdo de água no solo, para comparação com a curva de retenção de água no solo obtida na Figura 3. Avaliação visual permitiu reconhecer alguns genótipos tolerantes e sensíveis à seca, como pode ser observado nas figuras 11 e 12, mas que para o genótipo Aliança, uma avaliação visual não seria suficiente (Fig. 13).



**Distância em metros dos dois lados dos aspersores.**

**Fig. 8.** Lâmina total de água aplicada (0 a 8 mm/hora) em sistema com diferentes níveis de irrigação no trigo, durante o experimento de campo de inverno em 2005. (A quantidade total de água aplicada no melhor tratamento foi de 270 mm em 120 dias de ciclo).



**Distância em metros a partir dos aspersores.**

**Fig. 09.** Rendimento de grãos de trigo, obtidos (0 a 2000 kg/ha) em sistema com diferentes níveis de irrigação, com colheita manual e três repetições



**Fig. 10.** Foto do sistema com diferentes níveis de irrigação, antes da aplicação do estresse hídrico durante o período de perfilhamento da cultura de trigo.



**Fig. 11.** Genótipo de trigo (PF 020037) tolerante ao estresse hídrico avaliado em diferentes níveis de irrigação.



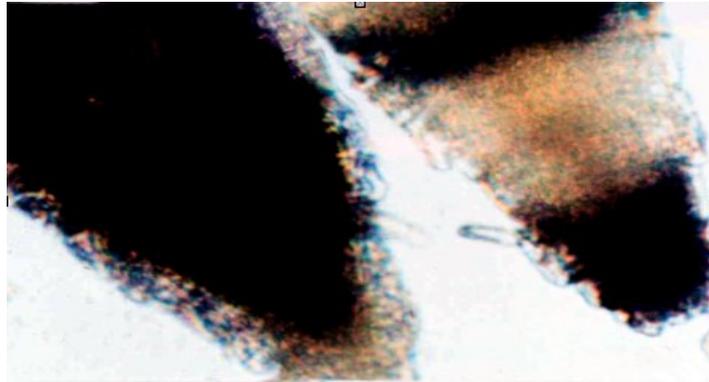
**Fig. 12.** Genótipo de trigo (PF 23201A) sensível ao estresse hídrico avaliado em sistema com diferentes níveis de água.



**Fig. 13.** Testemunha de trigo (cultivar Aliança) considerada tolerante aos estresses que ocorrem no plantio de sequeiro, avaliada em sistema de plantio com níveis de irrigação.

Paralelamente, será realizada uma triagem destes materiais para tolerância ao alumínio, “*in vitro*”, utilizando metodologia baseada no padrão de coloração de raízes com corante hematoxilina em presença deste elemento em solução nutritiva Fig. 14, onde o genótipo da direita, deve ser mais tolerante ao Al. Em geral, entre genótipos ou cultivares de uma mesma espécie, para uma mesma concentração de Al na solução, quanto maior a sua absorção e acumulação nos tecidos, mais fortemente a raiz é colorida com a hematoxilina, indicando a sensibilidade relativa do material.

Cada genótipo neste trabalho será classificado para tolerância ao Al<sup>+++</sup> em grupos de acordo com o padrão de coloração da zona apical.



**Fig.14.** Figura de raízes de trigo tratadas com hematoxilina (Foto cedida pela Dra. Leide Rovenia da Embrapa Cerrados)

### **Identificação de marcadores morfológicos relacionados com a resistência à seca em genótipos de trigo**

Para a identificação de parâmetros morfológicos associados com a resistência à seca, bem como avaliar a expressão fenotípica desses caracteres, foi conduzido um experimento em casa de vegetação com controle de estresse na Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás. Utilizou-se latossolo coletado em área típica sob vegetação de Cerrado. A correção do solo foi feita nos primeiros 20 cm do recipiente sendo que abaixo de 20 cm foi utilizado solo da camada subsuperficial. As unidades experimentais foram colunas de solo, acondicionadas em tubos de PVC de 20 cm de diâmetro e 100 cm de altura (Fig. 15). Os níveis hídricos, com e sem estresse hídrico após o florescimento, constituíram as parcelas e genótipos que vêm apresentando considerável resistência à seca (Aliança e Embrapa 21), dois genótipos de comportamento conhecido nas condições de safrinha (BR 18 e BH 1146) e um genótipo reconhecidamente sensível ao estresse hídrico (BRS 264), as subparcelas. Esse experimento objetivou testar a metodologia quanto à eficiência em discriminar os melhores genótipos em condições de estresse hídrico. Estes genótipos foram submetidos a condições adequadas de umidade no solo, 0,035 Kpa a 15 cm de profundidade, até o início da floração, quando foram submetidos aos dois tratamentos hídricos: 1) manutenção das condições hídricas adequadas na fase inicial e 2) aplicação de um estresse hídrico até o fim do ciclo da cultura, com a

reposição diária de aproximadamente 50% da água evapotranspirada, monitorada através de balança. Aos 22 dias após o início do estresse no trigo, foram avaliados os seguintes componentes agrônômicos: número total de folhas no colmo principal, número de folhas mortas no colmo principal, número de folhas vivas no colmo principal, comprimento e largura da folha bandeira, altura de planta, número de perfilhos e número de perfilhos mortos.



**Fig. 15.** Detalhes do experimento conduzido em casa de vegetação para avaliação de metodologia para aplicação e monitoramento de estresse hídrico na cultura de trigo sob condições controladas. Santo Antônio de Goiás, 2006. Detalhes na seqüência: Tubos de PVC como unidade experimental, controle da umidade pelo peso, controle da umidade pelo tensiômetro, detalhe das espigas e trigo na fase de colheita.

Durante o ciclo total da cultura foram aplicados respectivamente 46.895,00 mililitros de água no tratamento normal e 17.563,75 mililitros no tratamento sob estresse, conforme perda de água observada no período com base no genótipo testemunha cultivar Aliança. O tratamento com estresse hídrico teve início 40 dias após a semeadura no genótipo mais precoce BRS 264, no início do período de florescimento, coincidindo o início do estresse com essa fase de desenvolvimento para os demais genótipos. Nos meses de agosto e setembro, a reposição de água atingiu os maiores níveis em função do aumento de temperatura e da radiação solar

e de uma redução na umidade relativa do ar com conseqüente influência na evapotranspiração nesse período do ano.

O estresse hídrico influenciou significativamente várias variáveis relacionadas com a sobrevivência e com o potencial produtivo nos genótipos de trigo. No tratamento com estresse os genótipos apresentaram menor número de folhas no colmo principal, maior número de folhas mortas no colmo principal, menor número de folhas vivas no colmo principal com estreitamento da folha bandeira, plantas mais baixas e com menor número de perfilhos, menor número de grãos e de menor peso e menor quantidade de matéria seca na parte aérea. As variáveis comprimento da folha bandeira, comprimento de espiga e aristas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com e sem estresse detectando diferenças altamente significativas apenas entre os genótipos. Houve diferenças altamente significativas entre os genótipos para todas as variáveis avaliadas e a interação genótipo x nível de suplementação hídrica foi significativa para as variáveis folhas mortas no colmo principal, folhas vivas no colmo principal, altura de planta e peso de grão. Para essas variáveis, foi feita a decomposição genótipos x nível de suplementação hídrica para comparação de médias dentro e entre os dois tipos de tratamentos. Para as variáveis relacionadas ao sistema radicular não houve diferenças entre os níveis de suplementação hídrica, embora as cultivares BH 1146 e Aliança tenham apresentado os maiores valores para matéria seca e verde de raiz, diferindo estatisticamente das demais cultivares. Essas variáveis, juntamente com a matéria orgânica, apresentaram uma resposta quadrática com o aumento na profundidade do perfil na coluna, em função da maior concentração de raízes na área agricultável no perfil do solo e do acúmulo da matéria lixiviada no anel inferior das colunas.

A cultivar Aliança destacou-se como o genótipo mais tolerante ao estresse hídrico não apresentando diferenças significativas entre o peso de grãos por espiga no tratamento com suplementação normal de água e no tratamento com estresse hídrico. Outros resultados obtidos em campo também indicam essa cultivar como o genótipo mais tolerante ao estresse hídrico dentre os recomendados para a região do Cerrado no sistema de sequeiro. A cultivar Embrapa 21 apresentou, proporcionalmente, a maior redução no peso de grãos no tratamento com estresse, seguido da cultivar BR 18. Esses dois genótipos, embora recomendados para cultivo em condições de sequeiro, apresentam grande sensibilidade ao estresse hídrico causando elevadas perdas em produtividade nos plantios tardios com ocorrência de veranico.

Os genótipos avaliados nesse experimento foram classificados como sensíveis ao estresse hídrico e nenhum genótipo apresentou comportamento superior à média da testemunha tolerante, cultivar Aliança.

## **Implicações para o melhoramento de trigo visando a região tritícola do Brasil Central**

A partir de 2006 serão conduzidos rotineiramente experimentos em campo e em casa de vegetação, intercalados por fenotipagens *in vitro*, que fornecerão novos genótipos para cada sementeira. A identificação da(s) melhor(es) metodologia(s) de fenotipagem e a seleção de genótipos serão concomitantes a estes testes. Com isso pretende-se abreviar o processo para que, sejam iniciados os cruzamentos para o dialelo inicial da seleção recorrente e outros métodos de melhoramento para obtenção de cultivares de trigo em um prazo mais curto como Retrocruzamentos e Método da Semente Única. Caso sejam identificados genótipos elites e pré-existent no programa de melhoramento da Embrapa, estes poderão fazer parte diretamente dos experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU), que visam indicar novos materiais no mercado, o que proporcionaria maior rapidez no sentido de proporcionar que os resultados alcancem o produtor rural em menor período de tempo. Com estes materiais, podem ser planejadas parcelas de observações para dias de campo, objetivando a divulgação desses resultados.

Este trabalho de fenotipagem é parte inicial e importante de um trabalho amplo de melhoramento de trigo, que poderá contribuir para a viabilização da cultura sob regime de sequeiro no Cerrado, com conseqüente diversificação do agronegócio da região. Serão testadas e classificadas metodologias de fenotipagem que mais se correlacionem com tolerância à seca no Cerrado e serão identificados genótipos para pronta utilização em programas de melhoramento para trigo de sequeiro.

A utilização futura de Seleção Recorrente terá como principal objetivo concentrar genes favoráveis para adaptação de trigo na sementeira de sequeiro no Cerrado, proporcionando populações bem caracterizadas e com elevada expressão de resistência à seca para o desenvolvimento de linhagens. O sucesso de um programa de melhoramento que tenha como estratégia seleção recorrente, depende fortemente da escolha correta dos materiais que comporão o dialelo inicial, objetivando assegurar ampla variabilidade genética e máxima expressão dos caracteres relacionados com resistência à seca.

A disponibilização de fontes de tolerância à seca devidamente caracterizada para as condições de Cerrado potencializa a geração de novos cultivares de trigo adequadas às necessidades dos produtores dessa região tritícola. Espera-se que o conhecimento proporcionado, facilite a aplicação de métodos de melhoramento genético de trigo para a região, principalmente no que diz respeito à seleção de parentais para cruzamentos e geração de variabilidade. A tolerância à seca, é uma característica fundamental a ser considerada no lançamento de novas cultivares de trigo para o cultivo de safrinha nesta região. Adicionalmente, os resultados obtidos contribuirão para subsidiar uma agricultura sustentável na região do Cerrado e para a abertura de novas fronteiras do conhecimento científico em áreas prioritárias para a agricultura brasileira.

## Principais conclusões

Houve variabilidade entre os genótipos de trigo testados para o caráter tolerância à seca.

O cultivar Aliança, utilizada como controle, ainda é um dos materiais de maior destaque para cultivo no período de safrinha assim como no plantio de inverno sob condições de estresse hídrico.

Obteve-se um genótipo (PF 020037), que também se destacou para tolerância à seca, que deve ser intensificado nos cruzamentos para o períodos de safrinha no Cerrado.

A fenotipagem utilizando níveis de irrigação (line source) plantado no inverno pode ser útil na fenotipagem com este fim, para plantio em safrinha.



**Circular  
Técnica Online, 21**

Embrapa Trigo  
Caixa Postal, 451, CEP 99001-970 Passo  
Fundo, RS  
Fone: (54) 3316-5800  
Fax: (54) 3316-5802  
E-mail: sac@cnpt.embrapa.br

**Expediente**

Comitê de Publicações  
Presidente: **Leandro Vargas**  
Ana Lídia V. Bonato, José A. Portella, Leila M. Costamilan,  
Márcia S. Chaves, Maria Imaculada P. M. Lima, Paulo  
Roberto V. da S. Pereira, Rainoldo A. Kochhann, Rita Maria  
A. de Moraes

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento



Referências bibliográficas: Maria Regina Martins  
Editoração eletrônica: Aldemir Pasinato

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; VASCONCELOS, U.; TRINDADE, M. da G.; FERREIRA, F. M.; SIQUEIRA, M. M. H.; SILVA, H. L. M. da; RODRIGUES, G. C.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; AMÁBILE, R. F.; ALBUQUERQUE, A. C.; SÓ E SILVA, M.; ALBRECHT, J. C.; DURÃES, F. O. M. **Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético do trigo no cerrado.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 24 p. html. (Embrapa Trigo. Circular técnica Online, 21). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p\\_ci21.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci21.htm)>.